

直熱型熱電子コンバータの光照射効果

The Effect of Light Irradiation to a Directly Heated Type Thermionic Converter

山田 諄*, 大竹知博**

Jun YAMADA, Tomohiro OTAKE

Abstract Generally, a thermionic converter has to be operated at high temperature. But it makes the life of the cathode fall off, which has been one of causes of preventing practical use. Irradiating a laser to thermionic converter enclosed cesium, we tried to develop of one operated in relatively low temperature region. It is confirmed that the laser irradiation have improved to generate electricity in the thermionic converter, and that it is more effective at the lower temperature.

1. はじめに

熱電子コンバータは熱エネルギーを直接電気エネルギーに変換する直接発電の一種で、高温に加熱された電極からの熱電子放出現象を利用して出力を得る熱電子発電器である。この発電器は熱電子を放出するエミッタ陰極と、この電子を捕集するコレクタ陽極のみで構成される非常に簡単な構造の2極管で、熱源に応じて種々の形状、配置をとることができる。そのため原子炉の炉心熱、太陽熱或いは家庭用ボイラーによる発熱など様々な熱源が考えられ、分散型発電への応用が期待されている。またその特徴として可動部がないため静粛性に優れており、機械的なエネルギーを介さないので発電効率が高く、小型でも大きな出力が得られるといった点が上げられる。

一般に熱電子コンバータは高温で動作するという特性を持つ。大きな電子放出を得るためには陰極温度を高くする方法があるが、高温状態では電極は徐々に蒸発していき、遂には使用不能に陥ってしまうため、本格的に研究が開始されてから40年たった今でも実用化されずにいる。またエミッタとコレクタの電極間には放出電子のため空間電荷が生じ、こ

れにより出力が抑制されてしまうといった問題もある。

これを解決するには電極間隔を $10\mu\text{m}$ 以下にするか、発電器内に単体原子中最も電離電圧の低いセシウムを封入し、このセシウムを熱陰極での接触電離によってイオン化することにより空間電荷を中和させる二つの方法が考えられる。

本研究においてもセシウム封入型のコンバータを用いており、また更に積極的に空間電荷を解消させるその結果として比較的低温領域での動作を可能とするため、電極間の空間にレーザ光を照射しセシウムの光電離によって空間電荷を中和させ出力の増大を図る光照射効果について研究を行った。またエミッタ電極にも光を照射し、光電効果による影響についても調べた。

2. 実験装置

実験に使用した直熱型コンバータの構造を図1に示す。エミッタ電極は、直径約18mmの渦巻状タンゲステンよりなり、電極自身がヒータとなっている。コレクタ電極は直径約40mmのステンレスメッシュ($0.03\text{mm}\phi, 400\text{mesh/inch}$)となっている。これは光照射実験の際、エミッタに光を照射させるために

* 愛知工業大学 電子工学科 (豊田市)

**同大学院生 (豊田市)

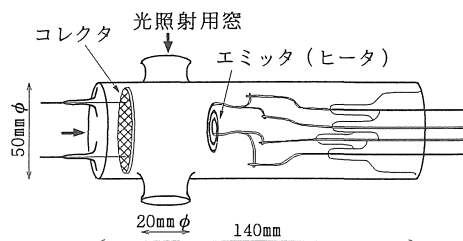


図1 直熱型熱電子コンバータ

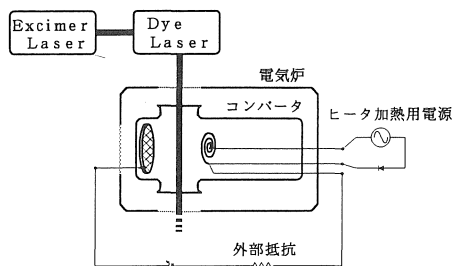


図2 実験装置概要

コレクタを透過させる構造、即ちこのようなメッシュ構造をとっている。メッシュの開口率は27.8%である。また電極間隔は約17mmである。

更にこのコンバータには光照射用の窓が設けられており、電極と電極の間の空間に、またコレクタ電極を透過させてエミッタ電極へそれぞれ光照射できるようにになっている。ここで本研究に於いて前者を空間照射、後者を電極照射と呼ぶことにする。

コンバータ管内底部にはセシウムが封入されており、このセシウムが電離することにより生ずるセシウムイオンによって、放出電子による電極間の空間電荷を中和させるという働きを持たせている。またこのセシウムは電極表面に付着し、電極の仕事関数を低下させる働きも合わせ持つ。

実験装置の概略を図2に示す。装置は熱電子コンバータ、電気炉、光源である色素レーザー（Lambda Physik製色素レーザーLPD3002）、色素レーザーをポンピングするためのエキシマレーザー（Lambda Physik製LPX205i）で構成される。

エミッタは60Hz半波整流電流で加熱され、このヒータ電流を変えることによりエミッタ温度を変化させることができる。半波整流電流を用いたのは、加

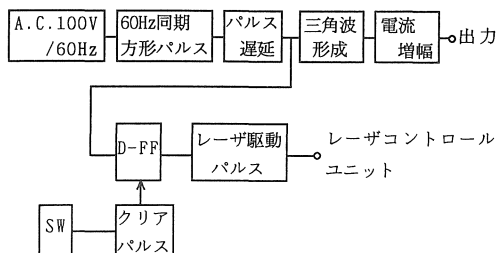


図3 三角波電圧形成及びレーザー駆動パルス形成ブロック図

熱電流によって生じる電界によって放出電子が影響を受けるのを避け、電界の影響がない状態即ち半波整流電流の休止中に測定を行うためである。またエミッタ温度は光高温計（Chino製パイロスタ MODEL IR-U）により測定した。

コンバータは電気炉内に設置されており、この炉温度を調節することにより、コンバータ内のセシウム蒸気圧の制御を行っている。またセシウム蒸気圧はコンバータ内の最も温度の低いところで決まるため、コンバータ底部にクロメル-アルメル熱電対を設置し炉温度を測定した。

出力はエミッターコレクタ間に接続された外部抵抗より求められる。

ここでコンバータの基本的な特性を示す短絡電流の測定時に、電圧電流特性を一度に測定するために印加した三角波電圧の発生回路ブロック図、及び光照射実験に用いたレーザー発振用パルスの発生回路ブロック図を図3に示す。

まず三角波電圧の発生過程について述べる。交流電圧の100V/60Hzを方形波に整形し、この周波数のパルスを作る。そしてこのパルスは遅延回路によって任意の時間だけ遅らされた後、三角波発生回路に入力される。そして電流増幅を行うことで短絡電流測定用の三角波電圧が出力される。パルスを遅延させるのは加熱電流の休止中に三角波を出力させるためである。

次にレーザー発振パルス発生過程である。遅延回路によって得られたパルスをクロックパルスとしてフリップフロップD-FFに入力する。そしてスイッチSWによってクリアパルスをD-FFに入力するとレーザー駆動用のパルスが形成され、このパルスがレーザーコントロールユニットを通してレーザーを発振させる。こ

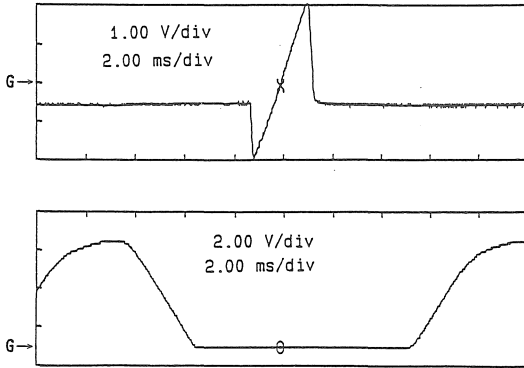


図4 三角波印加電圧波形(上図)
ヒータ加熱用60Hz半波整流電流波形(下図)

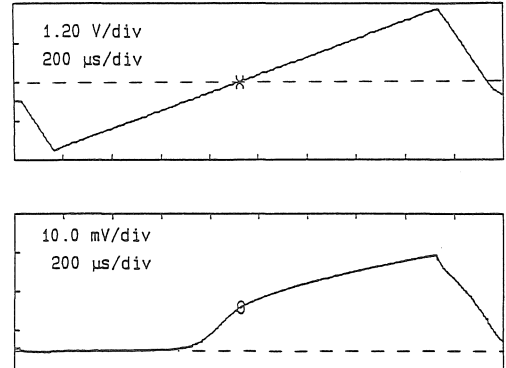


図6 三角波電圧波形(上図)と出力電圧波形(下図)

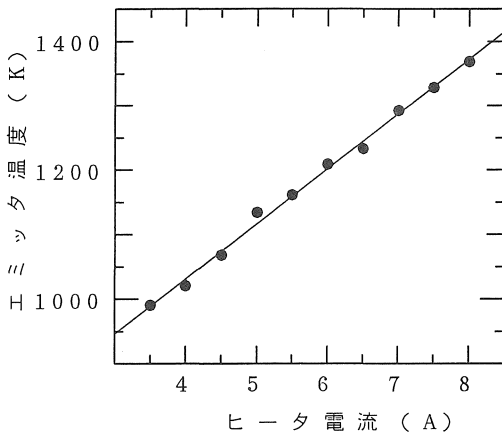


図5 エミッタ温度特性

のレーザ駆動パルスもヒータ電流の休止中に出力されるようになっている。

3. 短絡電流の温度特性

熱電子コンバータにおける光照射効果を知る前段階として、先ず熱電子発電による出力電流を測定し、短絡電流のエミッタ温度依存性及びセシウム蒸気圧依存性を調べた。

ヒータは半波整流電流で加熱されており、このヒータ電流の休止中に電圧電流特性を一度にとるために三角波電圧を印加した。そのときのヒータ電流と三角波電圧のタイミングを図4に示す。図中の矢印はグラウンドレベルである。三角波は任意のタイミングで印加できるが、加熱電流が流れている半サイク

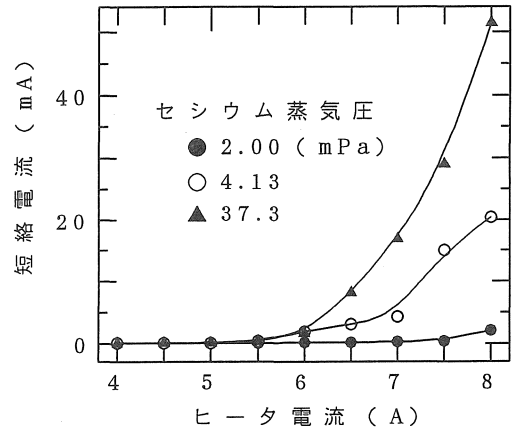


図7 ヒータ電流V.S短絡電流

ルでは出力の減少がみられたため、測定は全てこのタイミングで行った。そして三角波電圧を印加したときの出力特性を外部抵抗から測定し短絡電流を求めた。また短絡電流とはエミッターコレクタ間の三角波電圧が0Vとなったときの出力である。

次にヒータ電流の変化によるエミッタ温度の測定結果を図5に示す。エミッタ温度はヒータ電流にほぼ比例して高くなってゆくことが分かる。

次にエミッターコレクタ間の三角波電圧波形及び測定によって得られた出力電流波形の一例を図6に示す。破線はグラウンドレベルである。カーソルXは三角波電圧0Vの値を示しており、この時のカーソルOの出力が短絡電流である。この結果が示しているように、電圧が印加されていない状態でも出力が得られていることが分かる。

ヒータ電流に対する短絡電流を図7に示す。ヒータ電流に対する短絡電流を図7に示す。ヒータ電流に対する短絡電流を図7に示す。

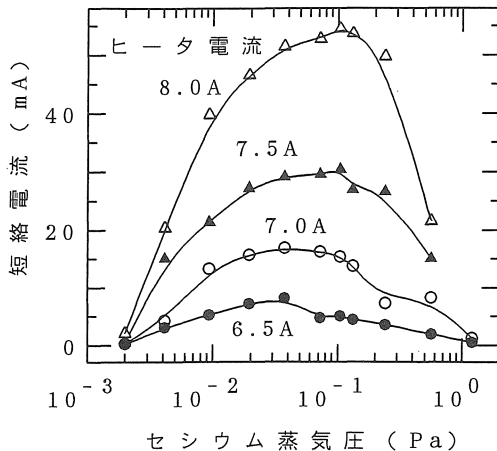


図8 セシウム蒸気圧V.S短絡電流

タ電流が4A未満では出力が認められなかったため測定は4Aからとし、またコンバータの保護のため8Aを上限とした。出力は6A程度から徐々に増加し始めているが、ヒータ電流の増加即ちエミッタ温度の上昇に伴い、この熱エネルギーを得て放出される熱電子数がここを境に大きく増加している。

セシウム蒸気圧に対する短絡電流特性を図8に示す。パラメータはヒータ電流である。ヒータ電流8Aの結果を見てみると、セシウム蒸気圧の上昇と共に短絡電流も増加していき、セシウム蒸気圧0.1Pa程度でピークを迎えた後減少している。これはセシウム蒸気圧を高くすると、エミッタ表面で接触電離されるセシウムの量が増え、それによって生じたイオンにより空間電荷の中和が促進されるため短絡電流は増加するが、セシウム原子密度が高くなりすぎると、エミッタから飛び出した熱電子がセシウム原子と頻りに衝突してこれが内部抵抗となり、コレクタに到達できる電子が減少するため、出力も減少するものと思われる。

4. 光照射実験

熱電子コンバータ内のセシウムを積極的に電離させ空間電荷を解消するためにコンバータにレーザ光を照射し、セシウムを光電離させ出力の増大を図った。更に電極にも光照射することにより、光電子放出効果も期待した。

光源である色素レーザの溶媒は、色素ローダミン

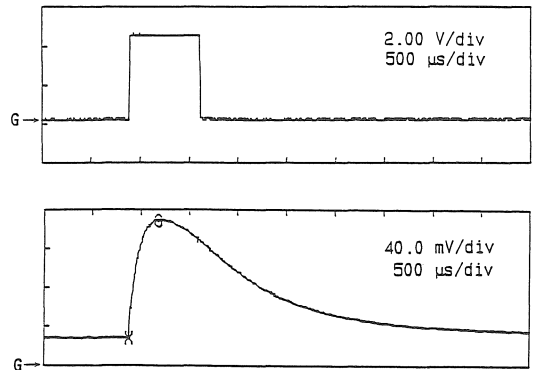


図9 レーザ駆動パルス(上図)と出力波形(下図)

640をメタノールで溶解したもので、発振波長は効率よくセシウムプラズマが生成する領域であり、またエキシマレーザから色素レーザへの変換効率が最も良かった640nmとした。そして直径5mm、エネルギーが11mJのレーザ光をヒータ電流が休止している期間に単発で照射した。またエミッターコレクタ間には2Vのバイアスがかけられている。

レーザ駆動パルス、及び出力波形の一例を図9に示す。実際のレーザ光は駆動パルスの立ち上がりから約1.4μs後に発振し、また半値幅は33nsであるので、ほぼカーソルXの位置に一本の線として表すことができる。またカーソルXは光を照射しないときの出力即ち熱電子放出による出力を表し、カーソルOは光照射により増大した出力を表している。そしてこの最大値を光照射後の出力として取った。

次に空間照射実験に於いて、光照射により照射しないときと比べてどれだけ出力が増加したかという出力電流増加率を、図10に示す。セシウム蒸気圧は0.24Paである。またヒータ電流8Aのときヒータ電極間において放電が生じたため、測定は7.5Aまでとなっている。この増加率特性ではヒータ電流が低いほど増加率が高くなっており、光照射の効果が高いことが分かる。そしてこれらの結果は次のように考察できる。

光照射によりセシウムが色素レーザの光子を吸収して電離する光電離が起り、より一層の空間電荷の中和が進み、放出電子がコレクタに到達するのを助け出力を増加させている。しかしヒータ電流が大きい場合、つまりエミッタ温度が高い領域ではエミッタ上でのセシウムの接触電離が活発なため、光照

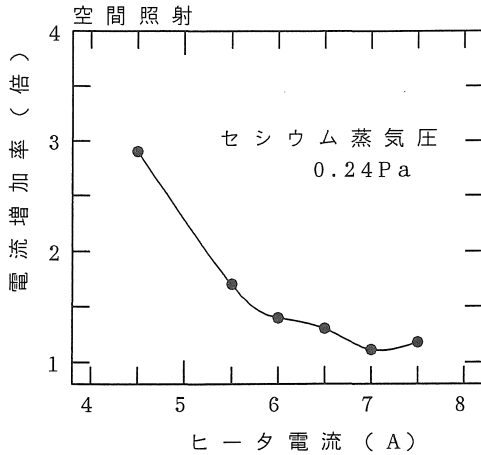


図 10 ヒータ電流V.S出力電流増加率

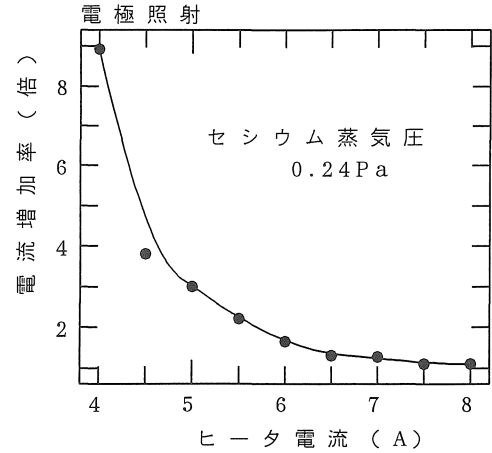


図 12 ヒータ電流v.s出力電流増加率

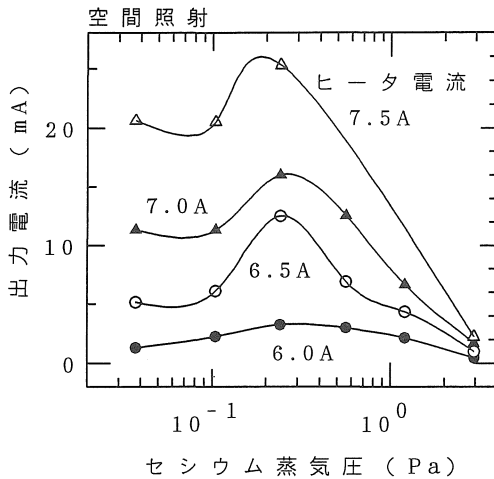


図 11 セシウム蒸気圧V.S出力電流

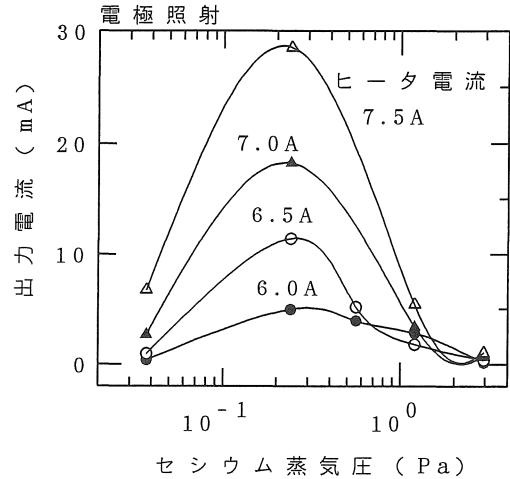


図 13 セシウム蒸気圧v.s出力電流

射をしてセシウムプラズマを生成しても効果が弱いことがうかがえる。

出力電流のセシウム蒸気圧依存特性を図 11 に示す。パラメータはヒータ電流である。短絡電流測定での結果と同様に、光照射後もピークが現れているが、多量のセシウム原子は内部抵抗の原因となっていることが分かる。

次に電極照射による測定結果を示す。

出力電流増加率特性を図 12 に示す。セシウム蒸気圧は 0.24 Pa である。電極照射の場合、光はコレクタを透過させる構造になっているのでここでエネルギーが減衰してしまい、実際にエミッタに照射される光のエネルギーは、空間照射と比較した場合およ

そ 1/3 程度である。

それに関わらず空間照射での出力電流増加率特性図 10 の結果に比べて、より大きな増加率が得られている。その要因としてエミッタでの光電効果が考えられる。また光はコレクタを透過させているのでコレクタでの光電効果もあると考えられる。しかしコレクタの仕事関数は、エミッタのそれより高い素材を用いているのでこの影響は弱いと思われる。

そこでエミッタを加熱させない状態で電極照射を行ったところ、得られた逆方向電流は 0.1 mA ほどであった。これは図 7 の短絡電流特性に示したようなエミッタを加熱させた状態で得られた出力電流値と比較すると極めて小さい値であり、無視することが

できる。

出力電流のセシウム蒸気圧依存特性を、ヒータ電流をパラメータとして表したものが図13である。この場合もやはりピークが現れている。

5. まとめ

本研究はセシウム封入型熱電子コンバータを用い、これに光を照射することにより出力の増大を図った。そして比較的低温領域での動作の有用性の確立を目的として、ヒータ電流及びセシウム蒸気圧をパラメータとして実験を行った。

その結果ヒータ電流、即ちエミッタ温度が低いほど光照射の効果が大きいことが分かった。しかし増加率で見ると限りでは成果が得られているが、電流値では格段の出力増加は得られなかった。その理由と

して次のような事柄が考えられる。

実験に用いたコンバータが直熱型のため比較的エミッタ温度が高く、そのため熱電子の放出が既に盛んになっており、また電極へのセシウムの被覆度が低く仕事関数があまり低下していないと思われるため、光照射による効果が少ない。

エミッタ構造が渦巻状であるため電極照射の際、実際に光が当たっているのはほんの僅かな部分しかない、といった点が上げられる。

一般に熱電子コンバータは高温動作を特色とするが、本研究によりコンバータへの光照射は比較的低温での動作の可能性をもたらした。そしてより光照射の効果をj得るために電極形状の改良、或いは傍熱型コンバータを用いるといったことが望まれる。

(受理 平成8年3月19日)